

光纤液位传感器光学系统的研究

陈安健¹, 留籍援²

(1. 厦门大学 机电工程系, 福建 厦门 361005; 2. 国家海洋局厦门第三海洋研究所, 福建 厦门 361005)

摘 要: 光纤液位传感器的光学系统采用对称补偿结构技术, 以发射和接收同轴结构的技术方案, 可实现油罐液位全光无电一次性传感检测。

关键词: 光纤液位传感器; 传感检测; 光学系统

中图分类号: TN209

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 9787(2000)01 - 0044 - 03

Study of optical system for optical - fiber liquid level sensor

CHEN An-jian¹, LIU Ji - yuan²

(1. Dept. machine and elec. Engin., Xiamen University, Xiamen 361005 China;

2. Third Inst. of Oceanography SOA., Xiamen 361005, China)

Abstract: A novel type optical system for optical - fiber liquid level sensor is presented, a new symmetric compensation structure technique was introduced in the optical system which has common axis and technology scheme for light limiting and receiving. Which realized the one - time electronics - free optical transducer measurement on a oil tank.

Key words: optical - fiber liquid level sensor; transducer measurement; optical system

0 引言

光纤传感器是近年迅速发展的一种新型传感器, 具有灵敏度高、抗干扰能力强等特点, 尤其在易燃易爆的恶劣环境中得到广泛应用。它的应用从根本上克服了电测方法带来的火灾隐患。

光纤液位传感检测系统基于相位^[1,2]激光测距原理, 将激光光学系统与地面光纤传感控制系统相耦合, 采用对称补偿结构以发射和接收同轴的结构技术, 为石化部门对油罐的液位实现全光无电一次性高精度在线传感检测。

1 光学系统的设计

检测中光学系统的设计是关键, 其结构、性能的优劣直接影响液位传感检测精度和过程稳定。因此, 光学系统在具体设计中主要考虑二个因素:

(1) 传感器的探测目标是液面, 近于红外光谱段是液面的辐射波长 为 760 nm, 频率为 $4 \times 10^{14} \sim 3 \times 10^{11}$ Hz。液面在这个波段的反射率 R 仅约 5.4%, 因此光学系统必须采用发射与接收同轴结构的技术方案, 以获得足够高的发射与接收效率。

(2) 应尽可能降低同轴发射与接收光学系统光波相同频率信号的干扰与偏轴衍射。

1.1 光学系统工作原理

由驱动电路驱动光源 L_1 发出的调制光由光纤

g_1 传输到达自聚焦透镜 j_1 , 自动准直后进入分光棱镜 P. S 实现偏振分光, x 方向偏振的反射光经望远系统 T. S 扩束后透过与 x 偏振方向成 45° 角的 1/4 波片 W. P 成为左旋圆偏振光射向液面。反射后仍以左旋圆偏振光沿原光路透过 W. P 成为 y 方向偏振光, 再经 T. S 后由 P. S 透射传输到达 j_3 , 再经光纤 g_3 传输至探测器 T. Q, 完成信号光路的传输测量。

同样, 由驱动电路驱动光源 L_2 发出的调制光由光纤 g_2 与自聚焦透镜 j_2 耦合准直后成为线偏振光射向 P. S, 其 x 方向偏振的反射光由 j_3 接收, 由光纤 g_3 传输至 T. Q, 完成了参考光路传输测量。系统正是根据对称补偿结构的要求, 其发射与接收采用了双光源受激交替发光, 满足探测器同时对信号光路及参考光路传输探测。整个传感检测系统工作原理如图 1 所示。

为保证测量的准确性, 提高补偿效果, 要求两个中心波长发光光谱一致的相同光源 $L_1 = L_2$ 交替受激发光, 其信号光路和参考光路之间便产生相位移动。^[2]

信号光路: $x_h = qd + L_1 + g_1 + j_1 + n +$

$2d + j_3 + g_3 + tc$

参考光路: $ck = qd + L_2 + g_2 + j_2 +$

$n + j_3 + g_3 + tc + 0$

收稿日期: 1999 - 10 - 18

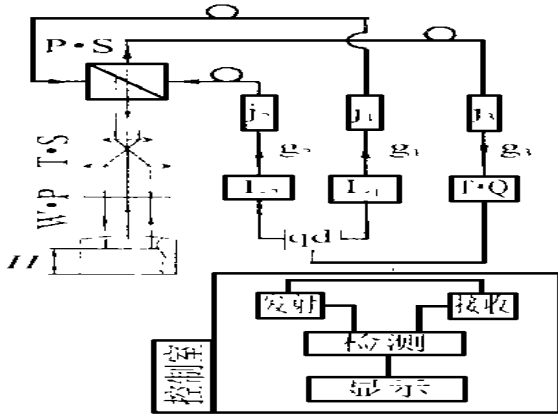


图1 光纤液位传感检测系统(光学系统)工作原理

Fig. 1 Working principle of transducer measurement system (optical system) for optical - fiber liquid level

式中: n_1 为光波由 j_1 出射至 P. S 及由 P. S 反射至液面反射透过 P. S 到 j_3 的光程相位移动量; n_2 则为光波由 j_2 出射 P. S 反射后到 j_3 端面时光程相位移动量。

信号光路与参考光路传输中各位相对应量为:

$$q_1 = q_2 \quad L_1 = L_2 \quad g_1 = g_2$$

$$j_1 = j_2 \quad t_1 = t_2$$

信号差分: $\Delta H = \Delta x_h - \Delta x_k = 2d + (n_1 - n_2)$

$(n_1 - n_2)$, 可由检相系统得到待测液面对应的相移量 $2d$, 根据相位式激光测距原理, 可测得待测液位值 H 。

1.2 光学系统元器件的原理及其设计

1.2.1 自聚焦透镜(j)^[3,4]

j 即为渐变折射率棒透镜, 根据工程光学原理, 其折射率在近轴光线上的分布为一抛物线。即有:

$$n(r) = n_0(1 - \frac{Ar^2}{2})$$

式中: $n(r)$ 和 n_0 分别为 r 处的和轴上的折射率分布; A 为聚焦常数, 其光线传输在周期(即节距)为

$b = \frac{2}{\sqrt{A}}$ 时, 其轨迹为一正弦曲线。

当一束发散光在透镜入射面中心入射时, 出射为平行光, 而一束平行光垂直入射到透镜入射端面时, 则会聚于出射端面中心。正是利用了自聚焦透镜对光的这种准直和会聚特性应用于系统中以减少测量中光束的扩散、漂移及外界干扰信号的影响, 从而提高测量信噪比及补偿效果。它将以比较高的耦合效率和良好的相位传输于检测电路与光学系统之间, 实现了全场全光无电的液位测量起着重要的作用。

1.2.2 偏振分光棱镜(P. S)的设计

偏振分光棱镜基于双折射原理产生偏振光, 采

用膜层镀在 45° 直角棱镜斜面上再胶合一个同样形状略小的棱镜, 构成胶合立方体, 其原理是对于折射率不同的两种介质的分界面, 当入射角满足布氏条件时, P 偏振光反射率 $R_P = 0$, 而 S 偏振光则部分反射, 部分透射。为了增加 S 偏振光的反射率, 使 P 偏振光透过率 T_P 接近于 1, 将以 Zk9 光学玻璃为材料, 由 ZnS 和 MgF_2 两种高低折射率组成 17 层膜系交替淀积, 以使膜系的色散与材料色散相匹配。在 $0.85 \mu m$ 波段范围内的偏振分光比达到 1:1, 透射光消光比为 2×10^{-3} , 反射光消光比为 1×10^{-2} , 以此设计出偏振度高的偏振分光棱镜^[5]。如图 2 所示。

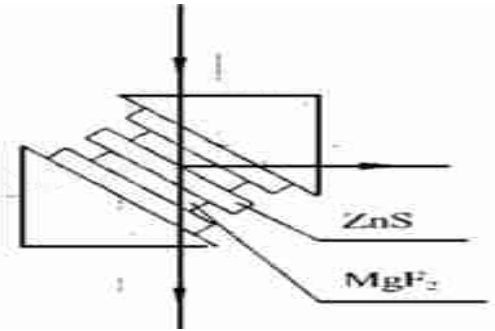


图2 偏振分光棱镜结构

Fig. 2 Spectroprism structure of vibration

这一偏振分光棱镜的使用是集分束、起偏、检偏功能于一体, 成为具有对称补偿结构中发射与接收共轴光学系统功能得以成功实现的关键光学元件。

1.2.3 1/4 波片(W. P)原理及其设计

1/4 波片在光学系统中起着改变光信号的偏振状态作用, 通过光矢量的振动产生相位差, 其结构及原理如图 3 所示。

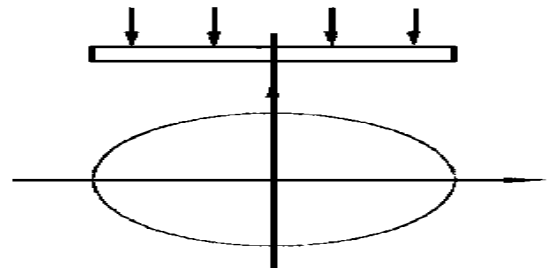


图3 1/4 波片结构

Fig. 3 1/4 wave piece structure

(1) 光轴与 1/4 波片表面平行时

当一束线偏振光垂直入射到波片表面上, 由于非常光 o、寻常光 e 在波片中传播速度不同, 通过波片后, 相位差 o 光比 e 光延迟 $\frac{\pi}{2}$ 。即:

$$\Delta \phi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot (n_o - n_e) \cdot d = \frac{\pi}{2}$$

(2) 偏振方向与 1/4 波片光轴成 45 角时

当垂直入射的线偏振光,通过波片偏振后,沿光传播方向成左旋圆偏振光,经液面反射后其偏振状态不变,再次垂直射入 1/4 波片上,出射后存在 $\frac{\pi}{2}$ 的附加相位差,这时圆偏振光实现了偏振方向与原偏振方向相垂直的线偏振光的偏振转换。整个转换过程如图 4 中的 a、d 和 b、c。

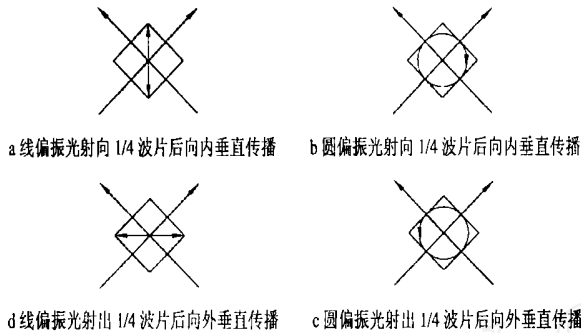


图 4 1/4 波片对线偏振光的转换原理

Fig. 4 Changtlover principle of polarized light on 1/4 wave piece

1/4 波片与偏振分光棱镜相配合使用,避免了光波同一频率的信号对于接收系统的串扰和衍射,可以实现光学系统发射与接收共轴工作方式。

1.2.4 望远系统(T.S)的设计

望远系统的作用在于将由自聚焦透镜出射的细平行光束经扩束后射向液面,由液面返回的光束细化后传至 j_3 接收,进入探测器(T·Q),从而提高耦合效率,减少光强变化及液面波动对于光学系统的影响。因此系统应有合理的象差分布和较高的耦合效率以保证对光束的良好传递。

光学系统所用的光源为 0.85 μm 的单色光,正好与液面辐射的近红外波长相匹配,因此不必考虑色差影响。通过望远系统中物镜、目镜的象差相配合可使整个望远系统象差得到补偿、校正。运行光学设计程序,输入初始结构参数及透镜组结构参数,选择不同视场和孔径光线,通过系统后的成像情况,由计算机辅助光路追迹、修改,得到满足设计要求的望远系统光学结构,系统象差如表 1。

表 1 望远系统象差数据

Tab. 1 Aberration data of telescopic system

h(w)	正弦差	垂轴象差	轴向象差	轴外象差	像散
1.000	0.000 076	0.080 47	0.024 71	- 0.090 21	0.375 14
0.707	0.000 081	0.005 17	0.093 18	- 0.011 74	0.082 37
0.300	0.000 040	0.002 83	0.007 43	- 0.007 09	0.071 08

系统象差^[5]从上表看出,在 $h(w)$ 孔径高度上其象散较大,但由于系统采用共轴、对称补偿结构,使其工作在 0.7 $h(w)$ 和 0.3 $h(w)$ 范围内,整个系统象差符合公差要求和传递函数 MTF,实现了平行光束的耦合传输。通过系统的设计计算,望远系统在近红外区域的透过率达到 93.7 % 以上。为此,各透镜表面均镀有透射波段的增透膜。达到尽量减少光学系统传输损耗和光波同频干扰。

2 结 果

将光学系统通过光缆输出端与控制室内光发射接收系统相连接,调整机械状态至光学系统轴线与液面垂直,运行整个液位系统,经 0 点修正定标,由计算机处理可得液位定标曲线如图 5 所示。将定标曲线输入计算机,作为液位传感 0 点标准曲线参照,这样,对于任意未知液位,可由计算机及定标曲线直接检测显示出其液位值 H 。

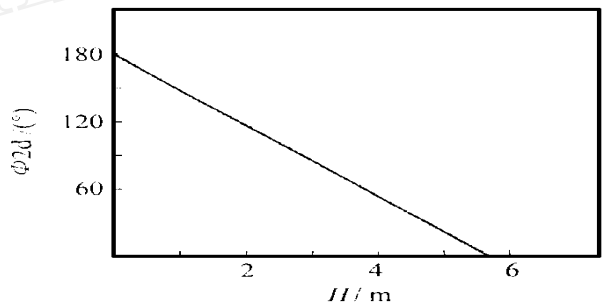


图 6 光纤液位定标曲线

Fig. 6 Calibration curve of optical - fiber liquid level

3 结束语

本文对光纤液位传感器光学系统研究中,采用对称补偿技术,以发射接收共轴工作方式对液位实现了全光无电一次性传感检测,结构简单紧凑,抗干扰性优良,完全可以应用于石化部门的液位检测,具有一定的工程应用价值和经济效益。

参考文献:

- [1] 陈惠兴. 相位式光波测距仪[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1981. 50 - 52.
- [2] 王 勇, 廖延彪, 赵华凤. 光纤干涉位移传感器相位估计的一种精确方法[J]. 光学技术, 1999, 1: 39 - 40.
- [3] Tomlinson W J. Application of GRIN - rod lenses in optical fiber communication system[J]. Appl. opt., 1980, 19(7): 1039.
- [4] 西安光机所. 新技术新产品选编[Z]. 西安:中科院西安光机所, 1997. 4.
- [5] 袁旭沧. 光学设计[M]. 北京:北京科学出版社, 1983. 341 - 354.

作者简介:

陈安建(1950 -), 男, 福建省连江县人, 工程师, 长期从事光学系统、光学传感器及光学冷加工工装模夹具的设计研究。